Rev. Écol. Biol. Sol, 1975, **12** (1): 193-199.

L'application des indices de richesse et d'activité pour la caractérisation microbiologique des sols

PAR

J. REMACLE et J. DE LEVAL

Département de Botanique, Université de Liège, Sart Tilman, B-4000 Liège

INTRODUCTION

Depuis de nombreuses années, nous nous sommes attachés à caractériser les sols au point de vue microbiologique. Dans ce but, la microflore a été analysée en relation avec le type de végétation qui se développe sur les sols étudiés. Avant d'exposer les résultats, il semble opportun de se rendre compte de l'importance des microorganismes dans le fonctionnement d'un écosystème ce qui donnera des indications sur la manière d'aborder leur étude. Les microorganismes contribuent principalement à assurer le cycle des éléments biogènes en intervenant au niveau des processus de décomposition de la matière organique. Bien que la microflore puisse jouer un rôle non négligealbe dans d'autres domaines (symbiose, parasitisme, etc.) les décomposeurs (bactéries et champignons) constituent un des chaînons indispensables à la vie de l'écosystème.

De ces considérations il ressort que la biomasse des germes n'apportera que peu de données pour la caractérisation biologique des sols. Un simple exemple va le démontrer. Si on compare la microflore et les producteurs primaires en se basant sur les critères de biomasse et d'énergie (REMACLE, 1971) on constate que le rapport entre la biomasse des germes et celle des producteurs primaires est dix fois plus petit que le rapport entre l'énergie des germes et celle des producteurs primaires. Il en découle que dans un écosystème l'importance des microorganismes provient surtout de leur activité et non de leur biomasse et qu'il faut surtout s'attacher à caractériser cette activité.

Plusieurs voies sont possibles. Dans ce travail, nous nous sommes basés sur les groupes physiologiques bactériens tels qu'ils ont été définis par POCHON et TARDIEUX (1962). Le groupe physiologique (ou fonctionnel) bacté-

rien est une population de bactéries qui peuvent appartenir à plusieurs entités systématiques et qui grâce à des propriétés physiologiques (biochimiques ou métaboliques) communes, sont capables d'agir ensemble (par ex. la cellulolyse, la protéolyse). En vue de comparer plusieurs sols, nous nous sommes attachés à obtenir une vue synthétique de l'importance des différents groupes physiologiques bactériens, surtout ceux des cycles du carbone et de l'azote, et nous avons mis au point deux indices : l'indice de richesse et l'indice d'activité.

MÉTHODES

L'indice de richesse permet de classer les sols étudiés en les comparant sur l'importance des groupes physiologiques. Comme l'indique le tableau I, les sols sont d'abord classés sur la base de l'importance de chaque groupe physiologique.

Pour la cellulolyse, le sol A héberge le plus grand nombre de germes et vient en première position tandis que le sol B en renferme le moins et est placé en troisième position.

TABLEAU I

Exemple de Calcul des Indices de richesse et d'activité

Groupes physiologiques	Dénombrement des germes dans les sols (germes/g sol sec)		
	A	B	C
Cellulolyse	50	30	40
Amylolyse	10	5	7
Protéolyse	25	10	8
Ammonification	30	15	20
Somme des groupes physiologiques	115	60	75
Microflore totale	46	54	44

Groupes physiologiques	Classement des sols		
	A	B	C
Cellulolyse	1	3	2
Amylolyse	1	3	2
Protéolyse	1	2	3
Ammonification	1	3	2
Indice de richesse	4	11	9
Indice d'activité	$\frac{115}{46} = 2,5$	$\frac{60}{54} = 1,1$	$\frac{75}{44} = 1,6$

Ce premier classement terminé, on additionne verticalement tous les chiffres et on obtient les indices de richesse. Il est à noter que le milieu qui héberge les groupes physiologiques les plus abondants se reconnaît à l'indice le moins élevé (dans l'exemple, c'est le sol A qui présente l'indice le plus favorable). En fait, l'indice de richesse donne une échelle comparative de l'activité potentielle de la microflore (notamment des processus de minéralisation).

L'indice d'activité se calcule en faisant le rapport entre la somme des concentrations en germes des groupes physiologiques bactériens et la microflore totale (tableau I). La microflore totale est dénombrée sur le milieu à l'extrait de terre (POCHON et TARDIEUX, 1962). L'intérêt de ce milieu réside dans le fait qu'il est possible de révéler les principaux groupes physiologiques bactériens, ce qui permet la comparaison entre les numérations de ceux-ci et le dénombrement de la microflore totale.

En fait cet indice donne une estimation de la capacité catabolique de la microflore d'un sol en évaluant l'ensemble des groupes physiologiques par rapport à la microflore totale. La micropopulation est d'autant plus efficace que l'indice est élevé. En effet, les fortes valeurs indiquent que les germes possèdent une gamme d'activités très diversifiées ce qui leur permettra d'exploiter efficacement les substrats. De faibles valeurs caractérisent les sols où l'activité de la microflore est très lente. Dans l'exemple du tableau I, le sol A est le plus favorable à la vie bactérienne.

RÉSULTATS

Bien que dans de nombreux cas, les indices de richesse et d'activité aient été calculés pour les mêmes sols, pour des raisons de clarté, nous exposerons d'abord les résultats obtenus par le calcul de l'indice de richesse.

L'indice de richesse a été appliqué aux résultats obtenus lors de l'étude de la microflore de la rhizosphère de plantes caractéristiques de trois groupes écologiques : le mull acide, le moder et le mor (REMACLE, 1966).

Deux espèces végétales ont été choisies dans chaque groupe écologique. Les analyses ont été faites mensuellement pendant une année. On constate

TABLEAU II

L'indice de richesse dans trois groupes écologiques

	Valeur (Moyenne de 12 analyses)
Groupe du mor :	
Vaccinium myrtillus	$5,4 \pm 0,3$
Calluna vulgaris	$5,2 \pm 0,4$
Groupe du moder :	
Luzula maxima	$3,0 \pm 0,5$
Poa chaixii	$3,6 \pm 0,3$
Groupe du mull :	
Galeobdolon luteum	$1,0 \pm 0,1$
Hedera helix	$2,4 \pm 0,4$

(tableau II) que pour les rhizosphères des plantes du mor (*Vaccinium myrtillus* L. et *Calluna vulgaris* Salisb.) l'indice vaut environ 5, il oscille autour de 3 pour les plantes du moder (*Luzula maxima* L. et *Poa chaixii* Vil.) et entre 1 et 2 pour les plantes du mull acide (*Hedera helix* L. et *Lamium galeobdolon* Huds.). La moins bonne séparation se situe entre la luzule et le lierre (différence significative à 90 %). De plus, on peut remarquer que la valeur de l'indice reste relativement stable au cours de l'année.

Enfin complémentairement à une estimation globale, l'analyse microbiologique permet de différencier les plantes à l'intérieur d'un même groupe écologique. C'est ainsi que l'analyse des résultats montre que, dans le groupe du mull acide, les germes cellulolytiques se rencontrent surtout au niveau de la rhizosphère du lamier.

La microflore tellurique de trois formations végétales appartenant au Mesobrometum a aussi été caractérisée par l'indice de richesse. Dans cette étude le sol a été prélevé dans la rhizosphère de *Seslaeria caerulea* (Celak.) Hegi.

Parmi ces formations, une appartient au stade pionnier, les deux autres sont plus ou moins proches du stade climacique.

Le calcul des indices permet de classer ces trois sites parallèlement à la classification phytosociologique puisque le stade pionnier a l'indice le plus élevé, 43, le stade proche du climax, 19 et le stade intermédiaire 29. Le stade proche du climax se caractérise surtout par une riche microflore nitrifiante tandis que la microflore cellulolytique du stade intermédiaire est particulièrement pauvre.

Dans un autre domaine, nous avons comparé les indices de richesse de sol prélevés dans six plantations de peupliers âgées de deux à dix-neuf ans (DE LEVAL et REMACLE, 1969). Ici les valeurs de l'indice suivent l'âge des plantations, elles sont en général les plus basses dans les plantations les plus âgées.

Plus récemment dans le cadre du Programme Biologique International nous avons calculé les indices de richesse de deux types de hêtraies et d'une pessière situées à Mirwart (Ardennes belges). Le sol de la hêtraie qui est situé sur le plateau est nu tandis que la végétation de l'autre hêtraie est composée de fétuques. Malheureusement les arbres de la hêtraie à fétuque ont été coupés, il y a un an et nos observations ne portent que sur six séries de prélèvements (février, début mars, fin mars, juin, septembre, novembre). Néanmoins, il est intéressant de constater que l'indice le plus élevé se rencontre dans la Pessière où l'horizon holorganique atteint une forte épaisseur et que les indices les plus favorables sont relevés dans la hêtraie à fétuque en particulier au niveau de la rhizosphère de la fétuque. Ce qu'il faut mettre en évidence c'est que la hêtraie à fétuque se situe aussi dans une classe de productivité supérieure à celle de la hêtraie du plateau (DUVIGNEAUD et al., 1972). Le pouvoir ammonificateur élevé des sols de la hêtraie à fétuque pourrait, en partie, expliquer la meilleure productivité.

Dans le cas où les deux indices ont été calculés, leurs valeurs évoluent parallèlement et conduisent par conséquent aux mêmes conclusions.

Avant d'exposer quelques résultats, il convient de suivre l'évolution de l'indice d'activité au cours de l'année. L'un de nous (DE LEVAL) a calculé les

TABLEAU III

Valeurs des indices dans quelques formations végétales

1. Mesobrometum (Rhizosphère de *Seslaeria caerulea* Ssp *calcarea* Hegi).

Stades	I.R.
Pionnier	43
Intermédiaire	29
Proche du climax	19

2. Plantation de peuplier (Rhizosphère de *Populus canadensis* var. *robusta*).

Ages des arbres (années)	I.R.	I.A.
2	31	1,2
6	54	1,1
13	34	1,6
15	32	1,5
17	33	2
19	26	2

3. Forêts de Mirwart (Ardennes belges).

	I.R.	I.A.
Hêtraie nue	82	1,2
Hêtraie à fétuque	78	1,5
Rhizosphère de fétuque	65	1,6
Pessière	125	0,5

4. Pelouses à *Arrhenatherum elatius* L. et recolonisation par *Agrotis tenuis* Sibth.

	I.A.
A. elatius sain	98,9
A. elatius peu chlorosé	14,4
A. elatius fort chlorosé	1,2
A. elatius mort : paillasse 1re stade	2,4
A. elatius mort : paillasse 2e stade	3,8
Ag. tenuis	17,9

TABLEAU IV

Variation de l'indice d'activité au cours d'un cycle saisonnier dans une prairie

Date	I.A.
4 avril	21,46
1 mai	2,48
27 mai	1,2
25 juin	0,82
20 juillet	1,26
19 août	0,56
22 septembre	1,36
21 octobre	65
25 novembre	6,4

valeurs de l'indice dans une prairie pendant un cycle saisonnier (tableau IV). Comme il l'avait constaté précédemment, les valeurs de l'indice fluctue relativement peu pendant de longues périodes (de mai à septembre) mais il faut noter deux pics l'un au printemps et l'autre en automne. Le premier traduit une stimulation de la microflore de la rhizosphère au réveil de la végétation, le second se produit au moment de la décomposition des débris végétaux. Les valeurs de l'indice d'activité varient donc d'un site à l'autre à un moment donné mais également au cours du temps pour un même site. Une description complète d'un sol devra donc tenir compte de ces deux types de variabilité.

Sur la base de l'indice d'activité on a comparé, à un même moment, la microflore des plantations de peupliers d'âges différents. L'indice varie de 1,1 à 2 suivant l'âge des peupliers ; c'est dans les plantations les plus âgées que la microflore est la plus efficiente (indice le plus élevé). Dans les forêts de Mirwart, l'indice vaut respectivement 0,5 ; 1,2 ; 1,5 et 1,6 pour la pessière, la hêtraie nue, la hêtraie à fétuque et la rhizosphère de fétuque, ce qui corrobore dans le cas des hêtraies les conclusions antérieures. Par ailleurs des sols empoisonnés par le zinc et le plomb ont été caractérisés au point de vue microbiologique (DE LEVAL et DEMONTHY, 1972). Ces sols sont colonisés, au départ, par *Arrhenatherum elatius* L., la végétation meurt au fur et à mesure de l'intoxication et forme une paillasse épaisse de litière à décomposition réduite dans laquelle *Agrostis tenuis* Sibth. s'implante petit à petit. Si on porte dans un tableau l'indice d'activité en fonction du couvert végétal, on constate que l'indice diminue en même temps que *Arrhenatherum elatius* disparaît et augmente lorsque la colonisation par *Agrostia tenuis* s'établit. En d'autres mots, l'efficience de la micropopulation diminue au fur et à mesure de l'intoxication, ce qui entraîne une accumulation de débris végétaux morts. Ensuite à la faveur de l'apparition d'une plante résistante, *Agrostis tenuis*, il s'installe une microflore active adaptée au biotope.

CONCLUSION

Les deux indices donnent des informations sur la microflore tellurique qui concordent avec celles que l'on peut tirer de l'étude des groupements végétaux. Mais ils permettent d'avoir une analyse plus fine du milieu, en donnant la possibilité de se rendre compte de l'état biologique du sol par la connaissance des activités microbiennes les plus importantes. Par exemple, en se basant uniquement sur les groupes bactériens décomposeurs, le calcul des indices facilite la localisation des sites où les conditions de minéralisation sont les plus favorables.

Par cette voie, il sera sans doute plus facile d'interpréter l'évolution des sols.

RÉSUMÉ

La caractérisation des sols par les indices de richesse et d'activité donne une vue synthétique de l'importance des groupes physiologiques bactériens.

L'indice de richesse établit une hiérarchie dans les sites étudiés en les comparant sur l'abondance des germes dans chacun des principaux groupes physiologiques.

L'indice d'activité donne le rapport entre la somme des dénombrements des groupes physiologiques et la microflore totale.

Des exemples sont donnés pour montrer la valeur écologique des deux indices. Les formations végétales choisies appartiennent aux biomes forestiers et prairiaux. Dans une série de formations végétales il y a un parallélisme entre la valeur des indices et le couvert végétal.

De plus, l'analyse microbiologique donne des indications supplémentaires sur le dynamisme biologique du sol.

SUMMARY

The application of the richness and activity indices in the microbiological description of soils.

The richness and activity indices give a bulk picture of the weight of the physiological groups in soils.

The richness index leads to the classification of the soil areas by putting them to the test of the amount of germs in the main physiological groups.

The activity index results from the ratio between the sum of the germs of the physiological groups and the total microflora. The ecological value of these indices is demonstrated by studying plant associations which belong to forest and grassland biomes. There is a parallelism between the value of the indices and the plant cover in a set of plant associations. Besides the microbiological analysis give additional features about the biological dynamism of the soil.

BIBLIOGRAPHIE

DUVIGNEAUD (P.), PAULET (E.), KESTEMONT (P.), TANGHE (M.), SCHNOCK (G.), TIMPERMANS (J.), 1972. — Productivité comparée d'une hêtraie et d'une pessière établie sur même roche-mère à Mirwart. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.*, **105**: 183-196.

DE LEVAL (J.) et DEMONTHY (J.), 1972. — Évolution de la microflore du sol en fonction de la concentration en zinc et en plomb. *Rev. Écol. Biol. Sol*, **9**: 491-504.

DE LEVAL (J.) et REMACLE (J.), 1968. — Étude de l'effet rhizosphère de *Sesleria caerulea* ssp. calcarea (Celak.) Hegi en milieu naturel. *Rev. Écol. Biol. Sol*, **5**: 63-79.

DE LEVAL et REMACLE (J.), 1969. — A microbiological study of the rhizosphere of poplar. *Pl. Soil*, **31**: 31-47.

POCHON (J.) et TARDIEUX (P.), 1962. — Techniques d'analyse en microbiologie du sol. *Éd. de la Tourelle Saint-Mandé, France.*

REMACLE (J.), 1966. — Étude microbiologique et micromycétique de plantes typiques de divers groupes écologiques. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.*, **99**: 201-219.

REMACLE (J.), 1971. — Studies of forest soil decomposition. Bulletins from the Ecological Research Committee n° 14 Swedisch Natural Science Research Council (NFR) : 146-148.